Library and Information Centre / Centre de documentation (CSLA)
RECEIVED / REÇU LE
JUL 17 1986
Transport Canada / Transports Canada

TP 5935 E

ROUTING AND SCHEDULING OF TRANSPORTATION SERVICES FOR THE DISABLED : SUMMARY REPORT

Prepared for the Transportation Development Centre,
Transport Canada
by
Serge Roy, Jean-Marc Rousseau,
Guy Lapalme and Jacques Ferland

November 1984

The contents of this report reflect the opinions of the authors only, and in no way represent the official policies or views of the Transportation Development Centre, Transport Canada.

Également disponible en français sous le titre : "Élaboration des routes et horaires de véhicules pour le transport adapté : Rapport sommaire", TP 5935F.

RESEARCH TEAM AND STEERING COMMITTEE

The research team from the Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal was composed of :

- Luc Chapleau, M.Sc.,
- Jacques Ferland, Ph.D.,
- Guy Lapalme, Ph.D.,
- Claude Mallette, B.Sc.
- Jean-Marc Rousseau, Ph.D.,
- Serge Roy, M.Sc.

A steering committee was formed to evaluate the progress of the work and the final report. The members were :

Mr. Frank H. Ahlin
Senior Analyst Operations Research
Toronto Transit Commission

M. François Beaulieu
Directeur adjoint, Soutien technique et administratif
Service du Transport
Commission de transport de la Communauté urbaine de Montréal

Mr. B.E. Hicks
Senior Program Manager
Road and Transportation Association of Canada

Mr. John Ryell
Transit Office
Ontario Ministry of Transportation and Communications

M. Michel Trudel
Agent de recherche, Service des études
Ministère des transports du Québec

Mrs. Ling Suen
Senior Special Advisor
Transportation Development Centre

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the members of the steering committee, and the transportation authorities of Montreal, Sherbrooke and Toronto, for their collaboration in this project.

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP5935E	4712	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Routing and Scheduling for the Transportation of the Disabled Persons : Summary Report	December 1984
	6. Performing Organization Report No.
7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
Serge Roy, Jean-Marc Rousseau, Guy Lapalme, et Jacques Ferland	D1450-103-51
9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Centre de recherche sur les transports Université de Montréal C.P. 6128 - Succursale "A" Montréal, Québec HAC 3J7	6 AG.T82-2-2511
	11. DSS or Transport Canada Contract No.
	OAG82-00044
12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transport Development Centre Transport Canada Complexe Guy Favreau, 200 Dorchester Blvd. West Suite 601, Montreal, Quebec H2Z 1X4	Final
	14. Sponsoring Agency Code
	CDT 4712
15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
Summary of "Routing and Scheduling of Transportation Services for the Disabled" TP 5596E, TP 5597E, TP 5598E	S. Corbeil, L. Parent T. Smith, C. Hiron

17. Abstract

The main objectives of the project were to develop an algorithm and computer programs for routing and scheduling vehicles used to transport the disabled. A secondary objective was to codify test problems that could be used to validate the software, and be applied to other studies in this area. The algorithm and computer programs were improved gradually with the help of tests based on the codified data. In the system that was developed, particular attention was paid to measuring the distance between stops. For this, Area Master Files (AMF), a set of files containing geographical information, were used. Quality of service and vehicle productivity were the criteria used to develop the routing and scheduling algorithm. Test results showed that the computerized system, had advantages over the manual one.

18 Key Words	19. Distribution Statement
transport of the disabled, route, schedule, algorithm	Limited number of copies available from sponsoring agency

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	27	

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP5955F	4712	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Élaboration des routes et horaires de véhicules pour le transport adapté : Rapport sommaire	décembre 1984
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)	8. N° de dossier Transports Canada
Serge Roy, Jean-Marc Rousseau, Guy Lapalme, et Jacques Ferland	D1450-103-51

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier — ASC
Centre de recherche sur les transports Université de Montréal C.P. 6128 - Succursale "A" Montréal, Québec H3C 3J7	6 AG.T82-2-2511
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada
	OAG82-00044

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de rapport et période visée
Centre de développement des transports Transports Canada Complexe Guy Favreau, 200 boul. Dorchester ouest Suite 601, Montréal, Québec H2Z 1X4	Final
	14. Code de l'organisme parrain
	CDT 4712

15. Remarques additionnelles	16. Agent de projet — CDT
Sommaire de "Élaboration des routes et horaires de véhicules pour le transport transport adapté" TP 5596F, TP 5597F, TP 5598F	S. Corbeil, L. Parent T. Smith, C. Hirou

17. Résumé

Les principaux objectifs du projet étaient de développer un algorithme et des programmes informatiques pour confectionner des routes et des horaires de véhicules. Un objectif secondaire était la codification de problèmes tests pouvant servir à valider le logiciel développé et à d'autres études touchant le domaine du transport adapté. L'algorithme et les programmes informatiques furent améliorés successivement, à l'aide des tests effectués avec les données codifiées. Dans le système développé, un soin particulier est apporté à l'évaluation des distances entre les arrêts à visiter. Le dernier point nous a amenés à utiliser des AMF (Area Master Files), un ensemble de fichiers contenant diverses données géographiques. Dans l'algorithme de confection des routes et d'horaires, la qualité du service et la productivité des véhicules sont les critère considérés. Les résultats obtenus avec les tests effectués démontrent les avantages du système informatique comparativement à la méthode manuelle. Ce rapport sommaire présente les points essentiels des trois documents produits dans le cadre du projet.

18. Mots-clés	19. Diffusion
transport adapté, route, horaire personnes handicapées, algorithme	

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifié	Non classifiée	27	

FOREWORD

This summary covers the main features of a project on the routing and scheduling of transportation services for the disabled. The project was undertaken by the Centre de recherche sur les transports of the Université de Montréal in July 1982. This summary of reports written on the project begins by describing some of the results obtained with the codified test problems, and then examines the modules of the developed system. The fourth part deals with the routing and scheduling algorithm. The report concludes with a look at future work on the transport of the disabled.

TABLE OF CONTENTS

1. INTRODUCTION 1

2. RESULTS. 2

3. SYSTEM DESCRIPTION 5

4. ROUTING AND SCHEDULING ALGORITHM 7

5. CONCLUSION 16

REFERENCES 17

1. INTRODUCTION

Two types of computer system can handle a transit service for the disabled. The first deals with the information and is known as the management system. It records requests and cancellation, keeps statistics, gives access to reports and so on. The other, which is the kind that was developed for this project, helps the transport operator to schedule and route vehicles in compliance with all requests for transport.

The project was financed jointly by the Roads and Transportation Association of Canada (RTAC) and Transport Canada's Transportation Development Centre (TDC). Its main objectives were to develop an algorithm and computer programs for vehicle routing and scheduling. A secondary objective was to codify test problems that could be used to validate the software developed and be applied to other studies in the area of transport for the disabled.

Two things became clear as the project proceeded. The first was the importance of accurately measuring the distance between stops. That led us to Area Master Files (AMF), a collection of files containing geographical information of various kinds, which we used to draw up road networks. The second important fact we realized was that the routes and schedules used should be codified as well as the corresponding requests, so that we could have a basis of comparison. This was no easy task in view of the amount of information to be collected and the form in which it was shown on drivers' lags.

This summary describes the main points made in the three reports written about the project. It begins with some of the results obtained with the codified problems. Details of the tests can be found in the third report, entitled : "Routing and Scheduling of Transportation Services for the Disabled : Test Problems and Evaluation of Results" (3).

The computer programs that make up the system are covered in part three of the summary. The system is described in detail in the second report entitled : "Routing and Scheduling of Transportation Services for the Disabled : User's Manual and Computer Programs (2).

The fourth part of the summary is more technical, since it deals with the algorithm developed for vehicle routing and scheduling. Full details can be found in the report entitled : "Routing and Scheduling of Transportation Services for the Disabled : Algorithm" (1).

The summary ends by looking at the project's positive results.

2. RESULTS

In order to validate the computer programs developed for the project, we codified information for one day's operations in Montreal, Toronto and Sherbrooke.

- Toronto : January 27, 1983, Wheel-Trans Service;
- Montreal : January 19, 1983, Montreal Urban Community Transit Commission;
- Sherbrooke : October 14, 1982, Sherbrooke municipal transit corporation.

Transport requests were codified for all three cities; in addition, the routes planned by transport operators to comply with requests were codified for Toronto and Montreal. A summary of results follows; details can be found in report [3].

Quality of service and vehicle productivity were used as the criteria for evaluating vehicle routes and schedules. The notion of "service lag" in relation to requested time of arrival and departure, and of extra travelling time, was used to assess inconvenience to passengers. Vehicle productivity represents the number of passengers carried in each hour of vehicle travelling time.

The user specifies the kind of transport wanted and when : for example, desired arrival at 9 am or desired departure at 5 pm. A request for a desired time of arrival is met if the passenger is dropped off before the requested time, the service lag being the difference between the actual time of arrival and the time requested. If the passenger arrives after the requested time, the service lag is negative, to indicate failure to comply with the request. A departure request is met if the passenger is picked up after the specified time, the service lag being the difference between the actual time of departure and the time requested. If the user is picked up before the requested time, the service lag is negative, to indicate failure to comply with the request.

Users of this kind of transportation have to travel with other passengers. Thus, an individual may not be taken directly to his destination and he may have to spend extra time on the road while others are transported to their destinations. Extra travelling time is the difference between the length of time a passenger actually spends in the vehicle and the time it would take him to travel directly from his point of departure to his destination.

TORONTO

	THEIR ROUTES	OUR ROUTES
Number of requests	1096	1092
Number of passengers	1255	1251
Number of requests met	717	953
Average service lag	17.60	28.53
Number of requests not met	379	139
Average negative service lag	-30.40	-11.42
Average extra travelling time	16.02	18.13
Number of driver duties	60	50
Total vehicle travelling time	472h02m	415h22m
Average vehicle productivity rate	2.18	2.44

MONTREAL

	THEIR ROUTES	OUR ROUTES
Number of requests	580	574
Number of passengers	701	689
Number of requests met	374	574
Average service lag	24.37	13.23
Number of requests not met	206	0
Average negative service lag	-38.07	0.00
Average extra travelling time	9.22	6.59
Number of driver duties	62	46
Total vehicle travelling time	280h24m	204h18m
Average vehicle productivity rate	2.10	2.59

SHERBROOKE

	OUR ROUTES
Number of requests	85
Number of passengers	95
Number of requests met	85
Average service lag	16.27
Number of requests not met	0
Average negative service lag	0.00
Average extra travelling time	12.19
Number of driver duties	6
Total travelling time	14h51m
Average vehicle productivity rate	4.00

3. SYSTEM DESCRIPTION

The system includes a series of tools for vehicle routing and scheduling in the transport of the disabled. The system is divided into seven modules. It takes as basic data the Area Master Files (AMF), a set of files containing various items of geographical data. The first six modules produce a distance table, which is used by the seventh module to determine routes and schedules. Note that the first six modules of this system can be used with any routing system. In addition, the user may supply a distance table directly to the routing and scheduling module (module 7) without using the other six modules.

3.1 Creation of linked AMF tapes

The territory served by a transportation system may include several municipalities. The AMF received from Statistics Canada may therefore have to be linked together to produce larger AMF covering several regions or municipalities.

3.2 Selection of network components

Information on the road network in the desired regions is selected from the AMF. This information includes a file of arcs, a file of nodes and a file of street names. The arc file describes each street segment between two intersections. The node file gives the coordinates of the intersection. The street file gives information on the streets, their names, direction, etc.

3.3 Network aggregation

As the road network is usually too large, an aggregate network must be constructed. For instance, the Toronto road network, including the municipalities of East York, Etobicoke, North York, Scarborough, Toronto and York, contains 8709 streets, 31,650 street segments (arcs) and 21,570 intersections (nodes). It is difficult to calculate the distance table working with a network of this size. By identifying the major streets and those most frequently visited by clients, an aggregate network is built with 942 streets, 3948 street segments (arcs) and 3075 intersections (nodes). This network aggregation improves efficiency and provides sufficient accuracy.

3.4 Location of stops to be visited on the road network

The stops to be visited correspond to requested departure and arrival points. These must be located geographically on the network. Each address representing a stop is identified in terms of the closest street intersection.

3.5 Location of stops to be visited on the aggregated network

At this stage, an aggregate network has been determined and a street intersection has been associated with each address. In this module, the intersection in the aggregate network that is closest to our address is identified.

3.6 Construction of the distance table

The distance table is determined by evaluating the distance between each intersection of the aggregate network selected in the previous step. The distance between two intersections is calculated by using the street segments of the aggregate network.

3.6 Construction of vehicle routes and schedules

For the last module, we describe the information required and how it should be organized for the routing and scheduling. The routing and scheduling module can be used in a variety of situations to solve a variety of problems :

- Previously selected routes can be input to the program along with a set of new requests to be inserted into these routes. New routes may be initiated if desired.
- A single request can be inserted into previously scheduled routes, i.e. the program may be used in a demand responsive mode.
- The module can be used to create a new set of routes from a given set of requests.

In the construction of routes and schedules, the program considers the following factors :

- the quality of service to users,
- the maximum number of drivers available,
- the drivers' working hours,
- vehicle capacity,
- travel time between stops,
- handling time at stops.

4. ROUTING AND SCHEDULING ALGORITHM

4.1 Requests

Each request involves the movement of an individual or a group from a place of origin to a destination. A service time is specified corresponding to a desired departure or arrival time, depending on the request. The group to be transported may include disabled persons, who are ambulatory or in a wheelchair, and accompanying persons.

For each request (i) the following data is available :

o(i) : Place of origin indicator for request (i).
d(i) : Destination indicator for request (i).
NBAM(i) : Number of ambulatory disabled persons.
NBCH(i) : Number of disabled persons in wheelchairs.
NBCO(i) : Number of accompanying persons.
PRIORITE(i) : Level of service to be provided.
TYPE(i) : Type of request (i) : desired departure time or arrival time.
HS(i) : Arrival or departure time depending on the type of request (i).

4.2 Driver duty

A set of driver duties (or workdays) must be input to the heuristic. These duties can be supplied by the user, or produced by the driver-duty algorithm (see Blais and Rousseau [4]). The use of this algorithm requires an estimate of the number of vehicles required for each period of the day, which can be obtained by examining the average demand profile. It is important to note that the heuristic may only use a subset of the duties proposed. Each route produced by the heuristic corresponds to a task that a driver can carry out.

Transit drivers' duties are made up of one or two tasks.

We have the following information on each driver duty (j) -
NBP (j) : The number of tasks in duty (j).

For each task k in the duty (j) :

o(k) : Indicator of location where task k begins.
d(k) : Indicator of location where task k finishes.
HD(k) : Starting time for task k.
HF(k) : Finishing time for task k.

We also have the vehicle capacity assigned to each driver for each task.

4.3 The distance table

Two stops correspond to each request : origin and destination. For n requests, there are 2n stops to which correspond m different locations or points ($m < 2n$). The set of stops mapped onto a location depends on the location method.

4.3.1 Location methods

i. All stops having the same address are said to be at the same location.

ii. Stops are grouped together according to the distance between them. Each group corresponds to a location.

iii. The territory is divided into sectors, which can be determined in three different ways :
   - using postal codes,
   - using a grid,
   - manually.

   A location corresponds to each sector. This is the centroid of the sector.

4.3.2 Estimation methods

We define d(i,j) as the distance between point (i) and point (j). This distance may be calculated in various ways :

1) Let (x_i, y_i) and (x_j, y_j) be the coordinates of points i and j. The distance between i and j could be evaluated as a function of these coordinates. The simplest function (Manhattan distance) would be :

$$d_{ij} = [x_i - x_j] + [y_i - y_j]$$

The Euclidean distance (as the crow flies) would be :

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

There are several variants of these functions. These methods require that the points be geocoded.

2) The road network is represented by a graph where an arc represents a street segment and a node represents an intersection. Each point is associated with a node of the graph, i.e. the points are located at intersections of the road network. The distance between the nodes is calculated using a shortest path algorithm.

We have tested these methods. The latter one was adopted because it produces more accurate estimates using less computer time. In addition, the use of a network allows stops to be located automatically.

This comparison of the two methods also supplied new data on a much debated issue.

4.3.3 Distance tables

Because the estimation of the distance between two points is needed frequently in the algorithm and because this is a time-consuming task, we chose to work with distance tables. We consider two types of tables :

A complete table : The distance between each pair locations is known.
A partial table : For a given point, the distance to neighboring locations only is known.

The type of table constructed and the location estimation methods used are chosen according to the number of points and the surface area of the territory to be covered. For m points, the dimension of the complete table is $m(m+1)/2$.

d(i,j) : The distance between location (i) and location (j),
d(i,i) : The error due to the method of location; the average distance between two stops assigned to the same location (i).

4.4 The speed table

The system allows the user to define speed as a function of distance. This approach is more realistic : for short distances, there is always a fixed time required for acceleration and deceleration, and for long distances, higher speeds are possible because of the ability to use fast lanes.

The function is specified using six parameters :

VITMIN : Minimum speed (metres/minute)
VITMOY : Average speed (metres/minute)
VITMAX : Maximum speed (metres/minute)
d1 : The distance at which the average speed is applied (metres).
d2 : The distance at which higher than average speed is applied (metres).
d3 : The distance at which the maximum speed is applied (metres).

Using these parameters, the following function is applied :

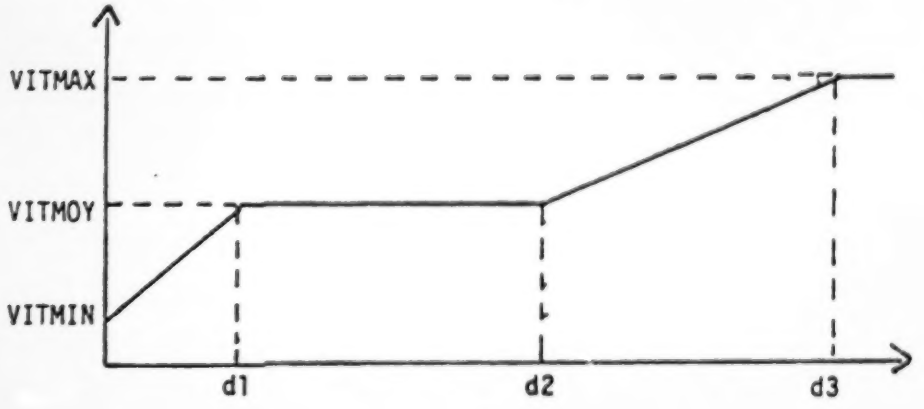

Figure 1 Speed function

For a distance d, our function gives a speed v(d). This allows us to calculate the travel time t=d*v(d). It is important that a given travel time corresponds to only one distance. To ensure that the distance can be deduced from the time, the speed function must satisfy the following condition.

Any straight line passing through the origin must intersect the speed function at only one point. This constraint ensures that a given time corresponds to a single distance, enabling this distance to be deduced.

4.5 Handling times

At each stop, a handling time is calculated. This time is a function of the number and type of disabled passengers included in the request. The user must apply the following parameters :

CHAISEMAN : Time required for handling a wheelchair.
AMBUMAN : Time required for handling an ambulatory disabled person.

If the request involves several people, the total handling time for the first individual is used plus half the basic handling time for each additional person. This method of calculation takes into account the fact that the driver has gotten out of his vehicle and the doors of the vehicle are open.

If (i) is a stop for request "d", the handling time at stop (i) is :

$$TM(i) = \begin{cases} (NBCH(d)+1)/2.0 * CHAISEMAN + NBAM(d)/2*AMBUMAN & \text{if } NBCH(d) > 0 \\ (NBAM(d)+1)/2.0 * AMBUMAN & \text{if } NBCH(d) = 0. \end{cases}$$

The user may specify the handling time at the origin or destination of a request to take into account special cases. If no time is specified, the function given above is used to calculate it.

The user may also input times allowed to the driver at the beginning and end of the task.

DEPGAR : Time allowed to the driver for departure from the garage.
ARRGAR : Time allowed to the driver for arrival at the garage.

4.6 The level of service

In selecting routes, the heuristic provides the following information for each request (i) :

HD(i) : The time of departure from requested point of origin (i).
HA(i) : The time of arrival at requested destination (i).

Between the departure and arrival of passengers for a given request, the vehicle may make other stops to serve other requests, thus generating excess travel time for the passengers of the original request.

ERT(i) : Excess ride time for request (i)
ERT(i) = HA(i) - HD(i) - t(o(i),d(i)).

Moreover, the type of request, TYPE (i) : desired departure or arrival time, as well as desired service time, HS(i), is also available for each request (i) :

DTD(i) : Deviation from desired service time.

$$DTD(i) = \begin{cases} HD(i)-HS(i) & \text{if type (i) = Desired departure} \\ HS(i)-HA(i) & \text{if type (i) = Desired arrival.} \end{cases}$$

The transport company specifies the constraints on the level of service provided to users. This level measure will depend on the priority of the request. The level of service provided to each priority is specified by the following parameters : the maximum deviation from the desired time allowed and the maximum excess travel time permitted.* In addition, the maximum time a passenger may spend in the vehicle can be specified.

DM(j) : Maximum deviation from desired service time for PRIORITE(j).
1) $DTD(i) \leq DM(PRIORITE(i))$

EM(j)* : Maximum excess ride permitted for PRIORITE(j).
2) $ERT(i) \leq EM(PRIORITE(i))$

VOYAGEMAX : Maximum travel time.
3) $HD(i)-HA(i) \leq VOYAGEMAX$.

* Excess ride time could be calculated in a more complex way as a percentage of the duration of a direct trip. A minimum level of excess ride could also be defined below which excess travel is not penalized.

4.7 The insertion heuristic

The heuristic is based on a parallel insertion technique. All routes are constructed at the same time. After the initiation of a few routes, new requests are inserted into them, or, as needed, new routes can be initiated.

Uninserted requests are grouped according to neighborhood. These groups are used to initiate other routes and to determine the next requests to be inserted.

Before the heuristic is presented, the following aspects of the algorithm will be described in detail :

4.1) How routes are initiated at the onset.

4.2) How the next requests to be inserted are selected.

4.3) How the best route for a given request is selected.

4.4) Where the origin and the destination of a request are inserted into a route.

4.7.1 Route initiation

When a group has sufficient requests, a route is initiated, and an attempt is made to insert all the requests in the group. The route is initiated by finding an available "task" to carry out the earliest request in the group. The task chosen is that for which the least possible time is lost between the departure time of the task and the time at which the vehicle must pick up the earliers request of the group under the following priority order :

1) Tasks of already initiated duties (duties with a task already initiated).

2) First tasks of non-initiated duties.

3) Other tasks.

4.7.2 Selection of the next requests to be inserted

The request with the greatest number of uninserted neighbouring requests is identified. If this request (centroid) has sufficient neighbours, an attempt is made to insert it and its neighbours into a route. If the group formed by these requests is small, the request within the horizon having the best affinity measure with the routes is chosen.

4.7.3 Selection of the best route for a given request

The matrix INSERT(d,p) provides an indication of the detour caused by the insertion of a request "d" if this insertion is feasible. Thus, the best route for d is the route p* so that

$$INSERT(d,p^*) = \min_{p} \{ INSERT(d,p) \}$$

4.7.4 Insertion of a request into a route

A request is to be inserted into a route. An insertion is defined by a pair of stops (GORI,GDES).

GORI : The stop in the route preceding the place where the origin of the request is to be inserted.

GDES : The stop in the route preceding the place where the destination of the request is to be inserted. (If GDES=GORI the destination of the request will be inserted immediately after the origin.)

A pair (GORI,GDES), with GORI < GDES, forms a feasible insertion if, when the time windows of the stops in the route after the insertion are recalculated, none of them closes up completely, i.e. we still have:

PLUSTOT*(k) < PLUSTARD*(k) for all stops k in the route.

Each feasible insertion involves a corresponding detour of the route and some inconvenience to clients. A feasible insertion may be chosen according to different criteria :

1) That which involves the minimum detours;
2) That which causes the least inconvenience.

4.7.5 Phases of insertion

Phase 1

The request "d" is to be inserted. Phase 1 of insertion involves finding the best route to receive request "d". Requests are evaluated in increasing order of the measure INSERT(d,p). The best route for "d" is p* so that

$$INSERT(d,p^*) = \min_{p} \{ INSERT(d,p) \} \text{ for all } p.$$

Phase 2

Requests are to be inserted into route (p). Phase 2 of insertion involves finding the best requests to be inserted into route (p). The best requests for this route (p) are uninserted requests which are neighbours of a request in route (p) or requests with a good measure of affinity with route (p), i.e. with a small value of INSERT(d,p).

4.7.6 The heuristic

1) Sort the requests according to desired service time.

2) Read the requests to initiate the horizon and to set up groups of neighbouring requests.

3) Initiate one or several routes with groups of neighbouring requests.

4) WHILE (uninserted requests).

BEGIN

4.1 IF (SUPHORIZON-INFHORIZON) is less than HORIZONMIN

Then

BEGIN

- Increase the horizon by reading requests.
- For each request read, initiate a row in the INSERT matrix.
- Set up and modify the groups of neighboring requests.

END

4.2 Determine the next request to be inserted, d*.

4.3 Attempt phase 1 with request d*.

4.4 IF (d* has not been inserted) AND (there are still some available drivers).

THEN- Initiate a route for d*.

4.5 If d* has been inserted, carry out phase 2 with the route which received the request.

END.

5. CONCLUSION

Scheduling and routing many vehicles to comply with hundreds of requests is an extremely complex task if performed manually, and it will increase in complexity as the number of passengers grows. In view of this complexity and the associated expense, the use of computers is essential. Computer-generated solutions are superior in terms of quality of service and vehicle productivity. Moreover, there are many organizational questions involved in transportation services for the disabled such as the make-up of the fleet, the rules governing reservations and cancellations, and the confirmation procedure. Answering these questions requires a computer program of the type we have developed so that different operating scenarios can be simulated and productivity and service analysed.

Large Canadian cities are now installing information management systems. The next stage, already under consideration in some places, is to incorporate into those systems programs to help with routing and scheduling.

The expertise resulting from this project has contributed and will continue to contribute to further research in the field and will have an effect on research in this field, as the following examples demonstrate.

Desrosiers, Dumas and Soumis are adapting their algorithm so that it can be used to further improve the routing and scheduling of vehicles for the transport of the disabled [5]. In an attempt to solve the problems associated with the transport of the disabled, the Centre de recherche sur les transports of the Université de Montréal is using the software developed for this project and the Toronto test problem in a study of the impact of different operating scenarios on routing and route quality [6].

We realize that computer-generated routes and schedules rarely give complete satisfaction. Because of that and special constraints, we are developing a program with interactive graphics that will allow the operator to call up routes and schedules on the screen and update them. This program is similar to the one developed for school buses [7], but is more complex as a result of the addition of a visual display of time schedules - a requirement in transportation services for the disabled.

REFERENCES

[1] ROY, S., ROUSSEAU, J.-M., LAPALME, G. and FERLAND, J., "Routing and scheduling of transportation services for the disabled : Algorithm", Montreal, Transport Canada, Transportation Development Centre, 1984, (TP5596E).

[2] ROY, S., ROUSSEAU, J.-M., LAPALME, G. and FERLAND, J., "Routing and scheduling of transportation services for the disabled : User's manual and computer programs", Montreal, Transport Canada, Transportation Development Centre, 1984, (TP5597E).

[3] ROY, S., ROUSSEAU, J.-M., LAPALME, G. and FERLAND, J., "Routing and scheduling of transportation services for the disabled : Test problems and evaluation of results". Montreal, Transport Canada, Transportation Development Centre, 1984, (TP5598E).

[4] BLAIS, J.-Y. and ROUSSEAU, J.-M., "HASTUS : An Evaluation Model for Drivers' Union Negotiation in Transit Companies", Montreal, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, publication #163, March 1980.

[5] DESROSIERS, J., DUMAS, Y. and SOUMIS, F., "The Multiple Vehicle Many to Many Routing Problem with Time Windows", Montreal, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, publication #362, 1984.

[6] BELISLE, J.-P., SOUMIS, F., ROY, S., DESROSIERS, J., DUMAS, Y. and ROUSSEAU, J.-M., "The Impact on Vehicle Routing of Various Operation Rules of a Transportation System for Handicapped Persons", Montreal, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, 1984.

[7] LAPALME, G. and CORMIER, M., "Design Considerations for an Interaction Route Editor", Montreal, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, publication #319, October 1983.

Transports Canada
Développement

Transport Canada
Development

TP 5935F

Élaboration des routes et horaires de véhicules pour le transport adapté

Rapport sommaire

Préparé pour le
Centre de développement
des transports
Transports Canada

NOVEMBRE 1984

Canada

Library and Information Centre /
Centre de documentation (CSLN)
RECEIVED - REÇU
JUL 17 1986
Transport Canada / Transports Canada

TP 5935 F

ÉLABORATION DES ROUTES ET HORAIRES DE VÉHICULES POUR LE TRANSPORT ADAPTÉ : RAPPORT SOMMAIRE

Préparé pour le Centre de développement
des transports, Transports Canada
par
Serge Roy, Jean-Marc Rousseau
Guy Lapalme et Jacques Ferland

Novembre 1984

Le contenu du présent rapport ne reflète que les opinions des auteurs et ne saurait en aucun cas engager les politiques et positions officielles du Centre de développement des transports, Transports Canada.

ÉQUIPE DE RECHERCHE ET COMITÉ DE DIRECTION

L'équipe de recherche du Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal se composait de :

- Luc Chapleau, M.Sc.,
- Jacques Ferland, Ph.D.,
- Guy Lapalme, Ph.D.,
- Claude Mallette, B.Sc.
- Jean-Marc Rousseau, Ph.D.,
- Serge Roy, M.Sc.

Pour participer à l'évaluation des progrès des travaux et du rapport final, un comité de direction se composait de :

M. Frank H. Ahlin
Analyste senior en recherche opérationnelle
Toronto Transit Commission

M. François Beaulieu
Directeur adjoint Soutien technique et administratif
Service du Transport
Commission de transport de la Communauté urbaine de Montréal

M. B.E. Hicks
Gestionnaire principal de programmes
Association des Routes et Transports du Canada

M. John Ryell
Transit Office
Ontario Ministry of Transportation and Communications

M. Michel Trudel
Agent de recherche, Service des études
Ministère des transports du Québec

Mme Ling Suen
Conseillère spéciale principale
Centre de développement des Transports

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier pour leur collaboration la direction des transports des villes de Montréal, Sherbrooke et Toronto, ainsi que le Comité de direction du présent projet.

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP5955F	4712	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Élaboration des routes et horaires de véhicules pour le transport adapté : Rapport sommaire	décembre 1984
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)	8. N° de dossier — Transports Canada
Serge Roy, Jean-Marc Rousseau, Guy Lapalme, et Jacques Ferland	DI450-103-51

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier — ASC
Centre de recherche sur les transports Université de Montréal C.P. 6128 - Succursale "A" Montréal, Québec H3C 3J7	6 AG.T82-2-2511
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada OAG82-00044

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de rapport et période visée
Centre de développement des transports Transports Canada Complexe Guy Favreau, 200 boul. Dorchester ouest Suite 601, Montréal, Québec H2Z 1X4	Final
	14. Code de l'organisme parrain CDT 4712

15. Remarques additionnelles	16. Agent de projet — CDT
Sommaire de "Élaboration des routes et horaires de véhicules pour le transport transport adapté" TP 5596F, TP 5597F, TP 5598F	S. Corbeil, L. Parent T. Smith, C. Hirou

17. Résumé

Les principaux objectifs du projet étaient de développer un algorithme et des programmes informatiques pour confectionner des routes et des horaires de véhicules. Un objectif secondaire était la codification de problèmes tests pouvant servir à valider le logiciel développé et à d'autres études touchant le domaine du transport adapté. L'algorithme et les programmes informatiques furent améliorés successivement, à l'aide des tests effectués avec les données codifiées. Dans le système développé, un soin particulier est apporté à l'évaluation des distances entre les arrêts à visiter. Le dernier point nous a amenés à utiliser des AMF (Area Master Files), un ensemble de fichiers contenant diverses données géographiques. Dans l'algorithme de confection des routes et d'horaires, la qualité du service et la productivité des véhicules sont les critère considérés. Les résultats obtenus avec les tests effectués démontrent les avantages du système informatique comparativement à la méthode manuelle. Ce rapport sommaire présente les points essentiels des trois documents produits dans le cadre du projet.

18. Mots-clés	19. Diffusion
transport adapté, route, horaire personnes handicapées, algorithme	

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifié	Non classifiée	27	

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP5935E	4712	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Routing and Scheduling for the Transportation of the Disabled Persons : Summary Report	December 1984
	6. Performing Organization Report No.
7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
Serge Roy, Jean-Marc Rousseau, Guy Lapalme, et Jacques Ferland	D1450-103-51
9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Centre de recherche sur les transports Université de Montréal C.P. 6128 - Succursale "A" Montréal, Québec HAC 3J7	6 AG.T82-2-2511
	11. DSS or Transport Canada Contract No.
	OAG82-00044
12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transport Development Centre Transport Canada Complexe Guy Favreau, 200 Dorchester Blvd. West Suite 601, Montreal, Quebec H2Z 1X4	Final
	14. Sponsoring Agency Code
	CDT 4712
15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
Summary of "Routing and Scheduling of Transportation Services for the Disabled" TP 5596E, TP 5597E, TP 5598E	S. Corbeil, L. Parent T. Smith, C. Hiron

17. Abstract

The main objectives of the project were to develop an algorithm and computer programs for routing and scheduling vehicles used to transport the disabled. A secondary objective was to codify test problems that could be used to validate the software, and be applied to other studies in this area. The algorithm and computer programs were improved gradually with the help of tests based on the codified data. In the system that was developed, particular attention was paid to measuring the distance between stops. For this, Area Master Files (AMF), a set of files containing geographical information, were used. Quality of service and vehicle productivity were the criteria used to develop the routing and scheduling algorithm. Test results showed that the computerized system, had advantages over the manual one.

18. Key Words	19. Distribution Statement
transport of the disabled, route, schedule, algorithm	Limited number of copies available from sponsoring agency

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	27	

SOMMAIRE

Ce rapport sommaire permet de présenter les points essentiels du projet sur l'élaboration des routes et horaires de véhicules pour le transport adapté, projet débuté en juillet 1982 au Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal. Il présente les points importants des trois documents [1,2,3] produits dans le cadre du projet. Nous débutons par la présentation de quelques résultats obtenus sur les problèmes tests codifiés. Dans la section suivante, nous présentons les modules informatiques du système développé. La quatrième section traite de l'algorithme développé pour confectionner les routes et horaires de véhicules. Nous concluons en décrivant les travaux futurs dans le domaine du transport adapté.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION. 1

2. LES RÉSULTATS 3

3. LA DESCRIPTION DU SYSTÈME 6

4. L'ALGORITHME DE CONFECTION DE ROUTES ET HORAIRES. 8

5. CONCLUSION. 17

RÉFÉRENCES. 18

1. INTRODUCTION

Nous distinguons deux types de systèmes informatiques pouvant aider un service de transport en commun pour personnes handicapées. Le premier aide à manipuler l'information et se nomme le système de gestion. Il permet d'enregistrer les demandes, les annulations, d'accumuler des statistiques, de sortir des rapports, etc. Le second, du type de celui développé dans le cadre du projet de recherche du Centre de recherche sur les transports, est un outil pour aider le transporteur dans le processus de sa prise de décision. Le transporteur doit confectionner des routes et des horaires pour ses véhicules afin de desservir l'ensemble des demandes de transport.

Les principaux objectifs du projet subventionné conjointement par l'Association des routes et transports du Canada (A.R.T.C.) et le Centre de développement des transports, Transports Canada (CDT) étaient de développer un algorithme et des programmes informatiques pour confectionner des routes et des horaires de véhicules. Un objectif secondaire était la codification de problèmes tests pouvant servir à valider le logiciel développé et à d'autres études touchant le domaine du transport adapté.

Dans le déroulement du projet, deux points majeurs ont marqué le développement de ce dernier. Premièrement, la prise de conscience de l'importance de la précision dans l'évaluation des distances entre les arrêts à visiter. Ce dernier point nous a amenés à utiliser les AMF (Area Master File), un ensemble de fichiers contenant diverses données géographiques; à partir de ces fichiers nous formons un réseau routier. Deuxièmement, l'importance de codifier les routes et horaires exécutés réellement pour les demandes codifiées, afin d'obtenir un point de comparaison. Cette dernière tâche s'est avérée longue, étant donné la quantité d'informations et la forme dans laquelle elles se retrouvent sur les feuilles de routes des chauffeurs.

Ce rapport sommaire du projet exécuté permet de présenter les points essentiels des trois documents produits dans le cadre du projet. Nous débutons par la présentation de quelques résultats obtenus sur les problèmes codifiés. Le détail des tests effectués se retrouve dans le document :

Élaboration des routes et horaires de véhicules
pour le transport adapté :
Les problèmes tests et l'évaluation des résultats [3]

Dans la troisième section, nous présentons une description des programmes informatiques constituant le système développé. La description détaillée du système fait le sujet du document :

Élaboration des routes et horaires de véhicules
pour le transport adapté :
Le manuel de l'analyste et les programmes informatiques [2]

La quatrième section traite d'un aspect plus technique : l'algorithme développé pour confectionner les routes et horaires de véhicules; cette section est une partie du document:

Élaboration des routes et horaires de véhicules
pour le transport adapté : L'algorithme [1]

Nous terminons ce rapport sommaire en soulignant les aspects bénéfiques de ce projet.

2. LES RÉSULTATS

Afin de valider les programmes informatiques développés dans le cadre de ce projet, nous avons codifié les données d'une journée d'opération des villes de Montréal, Toronto et Sherbrooke.

- La journée du 27 janvier 1983 de la Wheel-Trans Service de Toronto;
- La journée du 19 janvier 1983 de la Commission de transport de la Communauté urbaine de Montréal;
- La journée du 14 octobre 1982 de la Corporation municipale de transport de Sherbrooke.

Pour les trois villes, nous avons codifié les demandes de transport; de plus, pour les villes de Toronto et de Montréal, nous avons codifié les routes planifiées par le transporteur pour satisfaire les demandes. Nous présentons, dans cette section, un résumé des résultats obtenus. Le détail des résultats des tests effectués se retrouve dans le document [3].

La qualité du service accordé aux usagers et la productivité des véhicules sont les critères considérés pour évaluer une route et un horaire de véhicule. Les inconvénients d'un usager se composent du délai de service par rapport à l'heure de départ ou à l'heure d'arrivée demandée et de l'excès de temps de route que l'usager effectue. Comme statistique de productivité, nous utilisons le taux de productivité du véhicule. Ce taux représente le nombre de passagers transportés par heure de mouvement du véhicule.

L'usager spécifie un type de transport et une heure de service désirés, exemple : une arrivée souhaitée à 09:00 ou un départ souhaité à 17:00. Dans le cas d'une arrivée souhaitée, la demande est respectée si le dépôt de l'usager est effectué avant l'heure désirée, le délai correspond alors à la différence entre l'heure de dépôt et l'heure désirée. Si le dépôt est effectué après l'heure désirée, le délai est négatif pour exprimer que l'heure d'arrivée souhaitée n'est pas respectée. Dans le cas d'un départ souhaité, la demande est respectée si la prise de l'usager est effectuée après l'heure désirée; le délai de service correspond alors à la différence entre l'heure de prise et l'heure désirée. Si la prise de l'usager est effectuée avant l'heure de départ désirée, le délai est négatif pour exprimer que l'heure de départ souhaitée n'est pas respectée.

Dans ce type de transport, l'usager est amené à voyager avec d'autres passagers. La demande n'est pas nécessairement desservie directement; afin de desservir d'autres demandes, on peut amener le passager à faire du temps de route supplémentaire. L'excès de temps de route est évalué en soustrayant le temps direct pour aller de l'origine à la destination du temps que l'usager a passé dans le véhicule.

TORONTO

	LEURS ROUTES	NOS ROUTES
Le nombre de demandes	1096	1092
Le nombre de passagers	1255	1251
Le nombre de demandes avec l'heure de service respectée	717	953
Le temps moyen de déviation de l'heure désirée	17,60	28,53
Le nombre de demandes avec l'heure de service non respectée	379	139
Le temps moyen de violation de l'heure désirée	-30,40	-11,42
Le temps moyen d'excès de route	16,02	18,13
Le nombre de journées de chauffeurs	60	50
Le temps total de déplacement des véhicules	472h02m	415h22m
La moyenne des taux de productivité des véhicules	2,18	2,44

MONTRÉAL

	LEURS ROUTES	NOS ROUTES
Le nombre de demandes	580	574
Le nombre de passagers	701	689
Le nombre de demandes avec l'heure de service respectée	374	574
Le temps moyen de déviation de l'heure désirée	24,37	13,23
Le nombre de demandes avec l'heure de service non respectée	206	0
Le temps moyen de violation de l'heure désirée	-38,07	0,00
Le temps moyen d'excès de route	9,22	6,59
Le nombre de journées de chauffeurs	62	46
Le temps total de déplacement des véhicules	280h24m	204h18m
La moyenne des taux de productivité des véhicules	2,10	2,59

SHERBROOKE

	NOS ROUTES
Le nombre de demandes	85
Le nombre de passagers	95
Le nombre de demandes avec l'heure de service respectée	85
Le temps moyen de déviation de l'heure désirée	16,27
Le nombre de demandes avec l'heure de service non respectée	0
Le temps moyen de violation de l'heure désirée	0,00
Le temps moyen d'excès de route	12,19
Le nombre de journées de chauffeurs	6
Le temps total de déplacement des véhicules	14h51m
La moyenne des taux de productivité des véhicules	4,00

3. LA DESCRIPTION DU SYSTÈME

Le système suivant propose une série d'outils qui permettent de confectionner des routes et horaires pour le transport adapté. Le système est divisé en sept parties. Le système utilise comme information de base les AMF (Area Master Files) un ensemble de fichiers contenant diverses données géographiques. Les six premières parties permettent de produire une table des distances, cette dernière est utilisée dans la septième partie pour la tâche de confection de routes et d'horaires. Il est à noter que les six premiers modules du présent système peuvent être utilisés dans n'importe quel système de confection de routes. De plus, si l'usager peut fournir une table des distances au module de confection de routes et d'horaires (septième module), les six premiers modules peuvent ne pas être utilisés.

3.1 Création d'une bande d'AMF liés entre eux

Le territoire desservi par un transporteur peut regrouper plusieurs municipalités. Afin de pouvoir utiliser l'information de plusieurs régions ou de plusieurs municipalités simultanément, les AMF reçus de Statistique Canada sont réorganisés en plus gros AMF liés.

3.2 Extraction des composantes d'un réseau

Nous allons extraire d'un AMF (Area Master File) l'information décrivant le réseau routier des régions désirées. L'information se compose d'un fichier d'arcs, d'un fichier de noeuds et d'un fichier de noms de rues. Le fichier d'arcs décrit chaque segment de rue compris entre deux intersections. Le fichier de noeuds nous donne les coordonnées des intersections. Le fichier de rues nous donne l'information sur les rues, leur nom, leur sens, etc.

3.3 Création d'un réseau agrégé

Le réseau routier étant dans la plupart des cas trop grand, nous devons construire un réseau agrégé. A titre d'exemple, le réseau routier de Toronto, incluant les municipalités suivantes : East York, Etobicoke, North York, Scarborough, Toronto et York, contient 8709 rues, 31 650 segments de rues (arcs) et 21 570 intersections (noeuds). Il est difficile de déterminer la table des distances en travaillant avec un réseau de cette taille. En spécifiant les rues importantes et celles visitées par nos clients, nous confectionnons un réseau agrégé contenant 942 rues, 3948 segments de rues (arcs) et 3075 intersections (noeuds). Le réseau agrégé permet d'être efficace et il procure suffisamment de précision.

3.4 Localisation des arrêts à visiter sur le réseau routier

Les arrêts à visiter correspondent à des lieux de départ et/ou d'arrivée pour nos demandes. Nous devons localiser géographiquement ces arrêts. A chacune des adresses décrivant un arrêt, nous déterminons l'intersection du réseau routier le plus près.

3.5 Localisation des arrêts à visiter sur le réseau agrégé

À ce stade, nous possédons un réseau agrégé et nous avons associé, à chacune des adresses, une intersection du réseau routier. Dans ce module nous déterminons l'intersection du réseau agrégé la plus près de notre adresse.

3.6 Création de la table des distances

Nous créons la table des distances entre chacune des intersections du réseau agrégé sélectionnées à l'étape précédente. La distance entre deux intersections est déterminée en utilisant les segments des rues du réseau agrégé.

3.7 Confection des routes et horaires des véhicules

Dans le dernier module, nous décrivons l'information nécessaire et son organisation pour la confection de routes et d'horaires. Nous pouvons utiliser le module de confection de routes et d'horaires dans différents contextes :

Nous pouvons utiliser le progamme de confection de routes et d'horaires pour résoudre différents problèmes.

- Nous pouvons fournir au logiciel des parcours déjà confectionnés ainsi qu'un ensemble de demandes à insérer dans ces parcours. Nous pouvons lui indiquer d'initialiser au besoin de nouveaux parcours.
- Nous pouvons l'utiliser avec des parcours confectionnés en n'insérant qu'une seule demande ("Demand Responsive").
- Nous pouvons l'utiliser sans parcours initialisé en ne considérant qu'un ensemble de demandes à insérer. Le logiciel va initialiser au besoin les parcours.

Dans la confection des routes et horaires, le programme va considérer les points suivants :

- la qualité du service accordé aux usagers,
- le maximum de chauffeurs disponibles,
- les heures de travail des chauffeurs,
- la capacité des véhicules,
- les temps de déplacement d'un arrêt à l'autre,
- les temps de manutention aux arrêts.

4. L'ALGORITHME DE CONFECTION DES ROUTES ET HORAIRES

4.1 Les demandes

Une demande correspond à un déplacement d'une personne ou d'un groupe de personnes d'un lieu d'origine à un lieu de destination. Une heure de service est précisée, elle correspond à une heure de départ ou d'arrivée souhaitée, selon le type de la demande. Le groupe peut se composer de handicapés ambulants, de handicapés en chaise roulante et d'accompagnateurs.

Pour chacune des demandes (i) nous possédons comme information :

o(i) : L'indice du lieu d'origine de la demande (i).
d(i) : L'indice du lieu de la destination de la demande (i).
NBAM(i) : Le nombre de handicapés ambulants.
NBCH(i) : Le nombre de handicapés en chaise roulante.
NBCO(i) : Le nombre d'accompagnateurs.
PRIORITE(i) : Le niveau de la qualité de service à accorder.
TYPE(i) : Le type de la demande (i), (départ souhaité, arrivée souhaitée).
HS(i) : L'heure de service désirée, elle correspond à une heure d'arrivée ou de départ selon le type de la demande (i).

4.2 Les journées de chauffeurs avec véhicule

Un ensemble de journées de chauffeurs doit être fourni à l'heuristique. Ces journées peuvent être fournies par l'usager ou produites par l'algorithme de fabrication de journées de chauffeurs (voir J.-Y. Blais et J.- M. Rousseau [4]). L'utilisation de ce dernier exige l'estimation du nombre de véhicules nécessaires pour chaque période de la journée. Cette estimation peut être obtenue à partir du profil moyen de la demande. Il est important de noter que l'heuristique ne peut utiliser qu'un sous-ensemble de ces journées. A chacun des parcours produits par l'heuristique, correspond une pièce de travail d'un chauffeur pouvant le réaliser.

Une journée de chauffeur se compose d'une pièce de travail continue ou de plusieurs pièces de travail.

Pour chacune des journées (j), nous avons l'information suivante:

NBP (j) : Le nombre de pièces de travail formant la journée j.

Pour chacune des pièces k de la journée j :

o(k) : L'indice du lieu où débute la pièce de travail k.
d(k) : L'indice du lieu où se termine la pièce de travail k.
HD(k) : L'heure du début de la pièce de travail k.
HF(k) : L'heure de la fin de la pièce de travail k.

Ainsi que la capacité du véhicule affecté au chauffeur pour cette pièce de travail.

4.3 La table des distances

À chacune des demandes, correspondent deux arrêts, l'origine et la destination. A un ensemble de n demandes nous avons 2n arrêts, à ces arrêts correspondent m lieux ($m < 2n$). L'ensemble des arrêts attribués à un lieu dépend de la méthode de localisation.

4.3.1 Les méthodes de localisation

i. Tous les arrêts possédant une même adresse sont associés au même lieu.
ii. Les arrêts sont regroupés selon la distance qui les séparent, à chaque groupe correspond un lieu.
iii. Le territoire est divisé en secteurs, ces derniers peuvent être déterminés :
   - en utilisant les codes postaux,
   - avec une grille du territoire.
   - manuellement.

   À chacun des secteurs correspond un lieu, c'est le centroïde du secteur.

4.3.2 Les méthodes d'estimation

Nous définissons d(i,j), la distance entre le lieu (i) et le lieu (j). Cette distance peut être évaluée de plusieurs façons :

1) Soit $(x_i \; y_i)$ et $(x_j \; y_j)$ les coordonnées respectives des lieux i et j. La distance entre le lieu i et le lieu j peut être évaluée à l'aide d'une fonction des coordonnées.

La fonction la plus simple (distance Manhattan)

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

La distance euclidienne (la distance à vol d'oiseau)

$$d_{ij} = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2$$

Il existe plusieurs variantes de ces fonctions. Ces méthodes exigent que les lieux soient géocodés.

2) Le réseau routier est représenté par un graphe où un arc représente un segment de rue et un noeud représente une intersection. Chacun des lieux est associé à un noeud de notre graphe, ceci correspond à localiser le lieu sur une intersection de notre réseau routier.

La distance entre ces noeuds est évaluée avec un algorithme de chemin le plus court.

Nous avons testé ces méthodes. La dernière fut retenue car elle procure des estimations plus précises en consommant moins de temps-machine. De plus, l'utilisation du réseau permet une localisation automatique des arrêts à visiter.

Cette comparaison des deux méthodes a permis d'apporter de nouvelles données sur un problème fortement discuté.

4.3.3 Les types de tables

Étant donné que l'heuristique exige souvent de connaître la distance entre deux points et que ce calcul est onéreux, nous optons pour l'utilisation d'une table des distances (les distances sont symétriques). Nous envisageons le choix entre deux types de tables.

Une table complète : nous possédons la distance entre chacun des lieux.
Une table partielle : pour un lieu donné, nous avons la distance avec les lieux voisins.

La méthode de localisation, la méthode d'estimation ainsi que le type de la table sont choisis en fonction du nombre de lieux et de la superficie du territoire. Pour m lieux, la dimension de la table complète est de $m(m+1)/2$.

d(i,j) : La distance entre le lieu (i) et le lieu (j),
d(i,i) : L'erreur due à la méthode de localisation. La distance moyenne entre deux points possédant le lieu i.

4.4 La table des vitesses

Le système permet à l'usager de définir la vitesse en fonction de la distance. Cette façon de procéder est beaucoup plus réaliste, compte tenu que, pour une petite distance, il y a toujours un temps fixe dû à l'accélération et à la décélération et que, pour les grandes distances, une vitesse supérieure est justifiée par la possibilité d'utiliser les voies plus rapides.

La fonction est précisée en donnant six valeurs :

VITMIN : La vitesse minimum. (mètres/minute)
VITMOY : La vitesse moyenne. (mètres/minute)
VITMAX : La vitesse maximum. (mètres/minutes)
d1 : La distance à partir de laquelle nous appliquons la vitesse moyenne. (mètres)
d2 : La distance à partir de laquelle nous appliquons la vitesse supérieure à la vitesse moyenne. (mètres)
d3 : La distance à partir de laquelle nous appliquons la vitesse maximum. (mètres)

Avec ces valeurs, nous appliquerons la fonction ci-dessous :

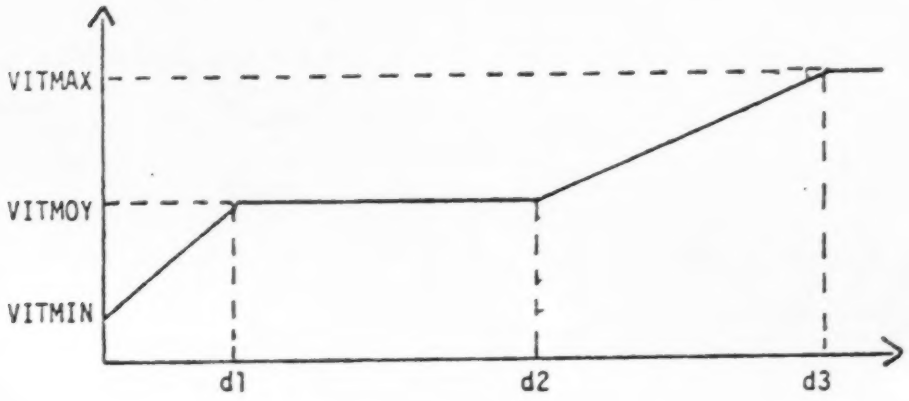

Figure 1 Fonction vitesse

Pour une distance d, notre fonction nous procure une vitesse v(d). Ceci nous permet de calculer un temps de déplacement t=d•v(d). Il est important qu'à un temps de déplacement corresponde une seule distance. Pour que nous puissions retrouver la distance à partir du temps, il faut avoir la condition suivante sur la fonction vitesse :

Il faut que toute droite partant de l'origine n'intersecte qu'en un seul point la fonction de vitesse. Cette contrainte nous assure qu'à un temps correspond une seule distance, ce qui nous permet de retrouver cette distance.

4.5 Les temps de manutention

À chacun des arrêts, un temps de manutention est calculé. Ce calcul est fonction du nombre et du type des handicapés de la demande qui correspond à l'arrêt. L'usager doit fournir les valeurs suivantes :

CHAISEMAN : Le temps de manutention pour une chaise roulante.
AMBUMAN : Le temps de manutention pour un ambulant.

Si la demande est composée de plusieurs personnes, alors, pour le premier, nous comptons son temps complet de manutention et, pour les autres, nous n'ajoutons que la moitié de leur temps de manutention. Cette façon de calculer prend en considération le fait que le véhicule est déjà arrêté, que le chauffeur est descendu et que les portes du véhicule sont ouvertes.

Si (i) est un arrêt de la demande "d", le temps de manutention pour l'arrêt (i) est donné par :

$$TM(i) = \begin{cases} (NBCH(d)+1)/2.0 * CHAISEMAN + NBAM(d)/2*AMBUMAN & \text{si } NBCH(d) \quad 0 \\ (NBAM(d)+1)/2.0 * AMBUMAN & \text{si } NBCH(d) = 0. \end{cases}$$

Nous permettons à l'usager de spécifier une valeur précise de temps de manutention pour l'origine et/ou la destination d'une demande pour tenir compte des cas particuliers. Si l'usager n'indique aucun temps, nous utilisons la fonction ci-dessus pour l'évaluer.

L'usager peut indiquer un délai donné au chauffeur pour le début et la fin de ces pièces de travail.

DEPGAR : Le temps donné au chauffeur pour le départ du garage.
ARRGAR : Le temps donné au chauffeur pour l'arrivée au garage.

4.6 La qualité du service

L'heuristique, en confectionnant les parcours, fixe pour chacune des demandes (i) :

HD(i) : L'heure à laquelle s'effectue le départ du véhicule de l'origine de la demande (i).
HA(i) : L'heure à laquelle s'effectue l'arrivée du véhicule à la destination de la demande (i).

Entre la prise et le dépôt des passagers d'une demande donnée, le véhicule peut être amené à desservir un ou plusieurs autres arrêts, ce qui implique un excès de route pour les passagers de la demande.

ERT(i) : Le surplus de temps à bord du véhicule pour la demande
ERT(i) = HA(i) - HD(i) - t(o(i),d(i)).

De plus, pour une demande (i), nous avons le type de la demande de TYPE (i) (départ ou arrivée souhaités) ainsi que l'heure de service désirée HS(i). Nous définissons :

DTD(i) : Déviation par rapport à l'heure de service désirée.

$$DTD(i) = \begin{cases} HD(i)-HS(i) & \text{si type (i) = Départ souhaité} \\ HS(i)-HA(i) & \text{si type (i) = Arrivée souhaitée} \end{cases}$$

Le transporteur spécifie des contraintes indiquant la qualité du service qu'il veut accorder à ses usagers. La qualité du service accordé à une demande est fonction de la priorité de la demande. Le transporteur est amené à fixer le niveau de service qu'il veut accorder en spécifiant pour chacune des priorités: la déviation maximale permise de l'heure de service désirée, l'excès de route maximal permis. (*) De plus, il peut spécifier le temps maximal qu'un passager peut demeurer dans le véhicule.

DM(j) : La déviation maximale permise par rapport à l'heure désirée pour la priorité j.
1) DTD(i) < DM(PRIORITE(i))

EM(j)* : L'excès de route maximal permis pour la priorité j.
2) ERT(i) < EM(PRIORITE(i))

VOYAGEMAX : Le temps maximum d'un voyage
3) HD(i)-HA(i) < VOYAGEMAX.

(*) L'excès de route peut être formulé de façon plus complexe comme étant un pourcentage de la durée directe de la demande. En spécifiant tout de même un minimum d'excès de route que tout passager peut être amené à faire.

4.7 L'heuristique d'insertion

L'heuristique est basée sur une technique d'insertion en parallèle. Tous les parcours sont confectionnés en même temps. Après l'initialisation de quelques parcours, il reste des demandes qu'il s'agit d'insérer dans ces parcours. Au besoin, nous pourrons initialiser de nouveaux parcours. Nous formons des groupes avec les demandes non insérées en utilisant les liens de voisinage qui existent entre les demandes, ces groupes sont utilisés pour initialiser au départ quelques parcours et pour déterminer les prochaines demandes à insérer.

Avant de présenter l'heuristique, nous détaillons les points suivants :

4.1) Comment initialiser au départ quelques parcours.
4.2) Comment déterminer les prochaines demandes à insérer.
4.3) Comment déterminer le meilleur parcours pour une demande.
4.4) Où insérer l'origine et la destination d'une demande dans un parcours.

4.7.1 L'"initialisation" des parcours

Avec chacun des groupes possédant suffisamment de demandes, nous "initialisons" un parcours et tentons d'insérer toutes les demandes du groupe. L'initialisation se fait en trouvant une pièce de travail non utilisée pouvant réaliser la demande la plus tôt du groupe. La pièce de travail choisie est celle avec le moins de perte de temps entre l'heure du départ de la pièce et l'heure à laquelle le véhicule doit exécuter la prise de la demande la plus tôt du groupe en suivant l'ordre de priorité suivant :

1) Aux pièces de travail de journée déjà initialisées (les journées avec une pièce de travail déjà initialisée).
2) Aux premières pièces de journée non initialisées.
3) Aux autres pièces.

4.7.2 Comment déterminer les prochaines demandes à insérer

Nous déterminons la demande de l'horizon possédant le plus de demandes voisines non insérées. Si cette demande (centroïde) possède un nombre suffisant de voisines, c'est cette dernière et ses voisines que nous allons essayer d'insérer dans un parcours. Si le groupe formé par ces demandes est petit, nous choisissons, comme prochaine demande à insérer, la demande de l'horizon qui possède la meilleure mesure d'insertion dans les parcours.

4.7.3 Comment déterminer le meilleur parcours pour une demande

La matrice INSERT(d,p) nous indique une estimation du détour provoqué par l'insertion de la demande dans le parcours p si l'insertion est réalisable. Ainsi, le meilleur parcours pour d est le parcours p*, tel que:

$$INSERT(d,p^*) = \min_{p} \{INSERT(d,p)\}$$

4.7.4 L'insertion d'une demande dans un parcours

Nous voulons insérer une demande dans un parcours. Une insertion est définie par un couple d'arrêts (GORI,GDES).

GORI : L'arrêt du parcours qui précède l'endroit où on veut insérer l'origine de notre demande.

GDES : L'arrêt du parcours qui précède l'endroit où on veut insérer la destination de notre demande. (Si GDES=GORI, c'est que nous insérons la destination immédiatement après l'origine de la demande.)

Une insertion réalisable est un couple (GORI,GDES) avec GORI $\leq$ GDES pour lequel, si nous ajoutons les fenêtres horaires des arrêts du parcours après l'insertion, aucune ne se referme complètement. Nous avons toujours:

PLUSTOT*(k) $\leq$ PLUSTARD*(k) pour les arrêts k du parcours.

À chacune des insertions réalisables, correspond un détour pour le parcours et des inconvénients pour la demande. Une insertion réalisable peut se faire selon différents critères:

1) Celle qui provoque le détour minimum
2) Celle dont la demande cause le minimum d'inconvénients.

4.7.5 Les phases d'insertion

Phase 1

Nous voulons insérer une demande "d". La phase 1 d'insertion consiste à trouver le meilleur parcours pouvant recevoir la demande "d". Les parcours sont évalués en ordre croissant de la mesure INSERT(d,p). Le meilleur parcours pour "d" est p* tel que

$$\text{INSERT}(d,p^*) = \text{Min}\ \{\text{INSERT}(d,p)\}\ \text{pour tout } p$$

Phase 2

Nous voulons insérer des demandes dans le parcours (p). La phase 2 d'insertion consiste à trouver les meilleures demandes pouvant être insérées dans le parcours (p). Les meilleures demandes pour le parcours (p) sont les demandes non insérées qui sont des demandes voisines d'une demande du parcours (p) ou les demandes possédant une bonne mesure d'insertion dans le parcours (p), i.e. une petite valeur de INSERT(d,p).

4.7.6 L'heuristique

1) Trier les demandes par heure de service souhaitée.

2) Lire des demandes pour initialiser l'horizon et former les groupes de demandes voisines.

3) Initialiser un ou des parcours avec les groupes de demandes voisines.

4) TANTQUE (des demandes non insérées).

FAIRE DEBUT

4.1 SI (SUPHORIZON-INFHORIZON) est inférieur à HORIZONMIN

ALORS

DEBUT

- Augmenter l'horizon en lisant des demandes.
- Pour chacune des demandes lues, initialiser une ligne de la matrice "INSERT".
- Former et modifier les groupes de demandes voisines

FIN.

4.2 Déterminer la prochaine demande à insérer, d*.

4.3 Tenter une phase 1 avec la demande d*.

4.4 SI (d* pas insérée) ET (il reste des chauffeurs)

ALORS - Initialiser un parcours pour d*

4.5 Si la demande d* est insérée, faire une phase 2 avec le parcours qui a reçu la demande.

FIN.

5. CONCLUSION

Confectionner les routes et horaires de plusieurs véhicules pour desservir des centaines de demandes est une tâche fort complexe à exécuter manuellement. Cette tâche est vouée à devenir de plus en plus complexe avec l'élargissement de la clientèle. Considérant la complexité de cette tâche et les coûts élevés engendrés, l'utilisation des outils informatiques s'avère essentielle. Les solutions générées par le logiciel sont supérieures au niveau de la qualité du service et au niveau de la productivité des véhicules. De plus, ce type de transport soulève beaucoup d'interrogations au sujet de son organisation. A titre d'exemple, nous pouvons nous interroger sur la composition de la flotte de véhicules, sur les règles de réservations et d'annulations, sur la procédure de confirmation aux clients. Afin de répondre à ces questions, un programme informatique du type de celui développé est nécessaire pour simuler différents scénarios de fonctionnement et analyser l'impact des politiques sur la productivité et la qualité du service.

Actuellement, les grandes villes canadiennes sont au stade de la mise en place de systèmes de gestion. L'étape suivante, et déjà envisagée par certaines d'entre elles, c'est l'intégration, dans leurs systèmes de gestion, de programmes pour les aider à confectionner leurs routes et horaires.

L'expertise développée grâce à ce projet a eu, et aura, des retombées bénéfiques pour la recherche dans ce domaine. Citons les travaux engendrés suite à la réalisation de ce projet.

L'équipe Desrosiers, Dumas et Soumis travaille à une adaptation de son algorithme afin que celui-ci soit utilisable pour réoptimiser les routes et horaires de véhicules pour le transport adapté [5]. Afin de répondre aux questions d'organisations de transport adapté, le logiciel développé dans ce projet ainsi que le problème test de Toronto sont utilisés dans une étude amorcée au Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal. Cette étude a pour objectif d'analyser l'impact de divers scénarios de fonctionnement sur la confection et la qualité des routes [6].

Étant conscients que les routes et horaires confectionnés automatiquement sont rarement acceptables dans leur totalité et à cause de diverses contraintes spéciales, nous développons présentement un programme interactif-graphique afin de permettre au transporteur de visualiser et d'apporter les dernières corrections aux routes et horaires. Ce programme est de même type que celui développé pour le transport scolaire [7], mais s'avère plus complexe par la nécessité de visualiser à l'écran la notion du temps présente dans le problème du transport adapté.

RÉFÉRENCES

[1] ROY, S., ROUSSEAU, J.-M., LAPALME, G. et FERLAND, J., "Élaboration des routes et horaire de véhicules pour le transport adapté : L'algorithme", Montréal, Transports Canada, Centre de développement des transports, 1984 (TP5596F).

[2] ROY, S., ROUSSEAU, J.-M., MALLETTE, C., LAPALME, G., FERLAND, J. et CHAPLEAU, L., "Élaboration des routes et horaires de véhicules pour le transport adapté : Manuel d'analyste et programmes informatiques". Montréal, Transports Canada, Centre de développement des transports, 1984 (TP5597F).

[3] ROY, S., ROUSSEAU, J.-M., LAPALME, G. et FERLAND, J., "Élaboration des routes et horaires de véhicules pour le transport adapté : Les problèmes tests et l'évaluation des résultats. Montréal, Transports Canada, Centre de développement des transports, 1984 (TP5598F).

[4] BLAIS, J.-Y., ROUSSEAU, J.-M., "HASTUS : An Evaluation Model for Drivers' Union Negotiation in Transit Companies". Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, publication #163, mars 1980.

[5] DESROSIERS, J., DUMAS, Y. et SOUMIS, F., "The Multiple Vehicle Many to Many Routing Problem with Time Windows", Montréal, Centre de recheche sur les transports, Université de Montréal, publication #362, 1984.

[6] BELISLE, J.-P., SOUMIS, F., ROY, S., DESROSIERS, J., DUMAS, Y. et ROUSSEAU, J.-M., "The Impact on Vehicle Routing of Various Operation Rules of a Transportation System for Handicaped Persons", Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, 1984.

[7] LAPALME, G. et CORMIER, M., "Design Considerations for an Interaction Route Editor", Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, publication #319, octobre 1983.

Library and Information Centre / Centre de Documentation (GSLA)
RECEIVED - REÇU LE
JUL 17 1986
Transports Canada